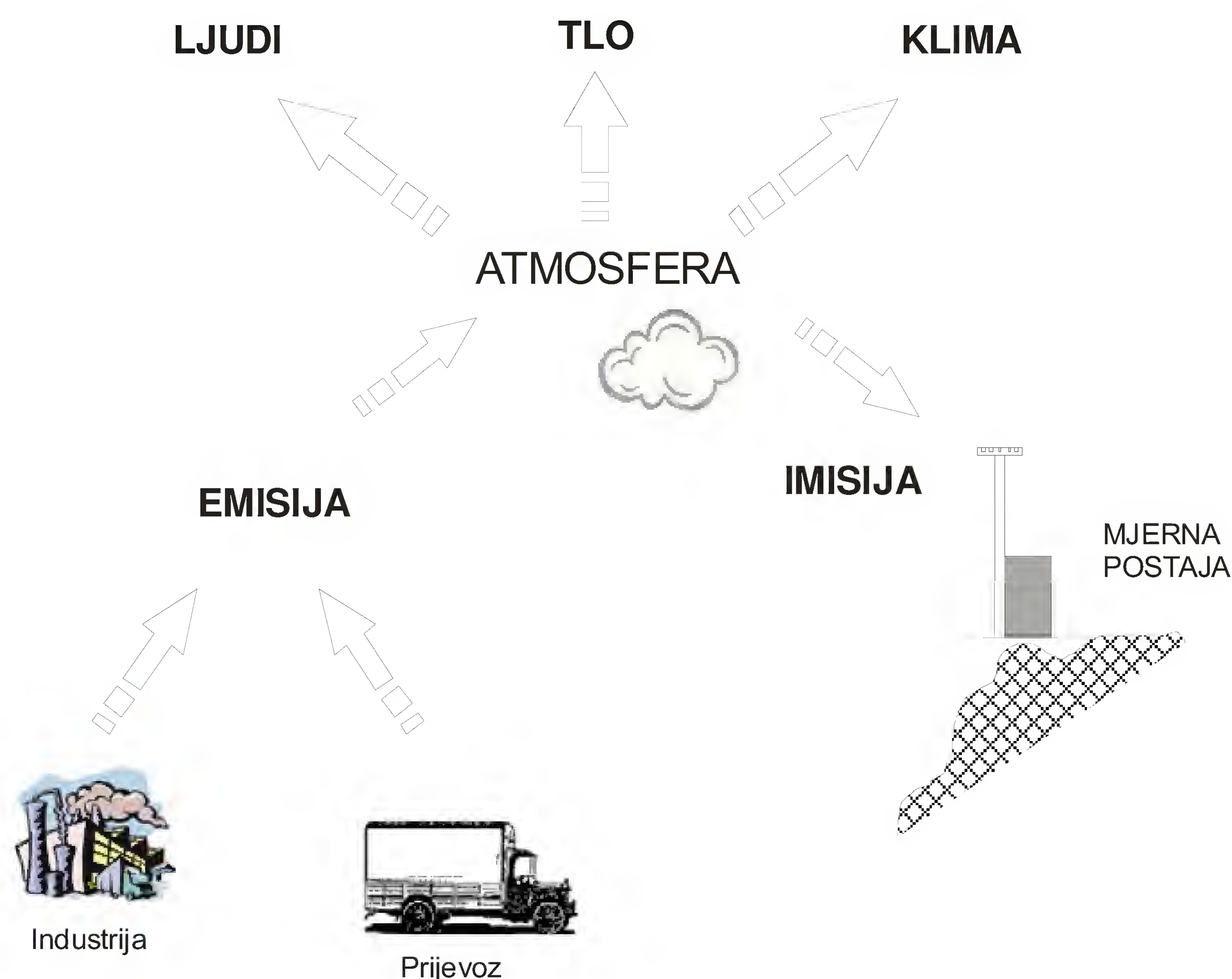
VJEŽBA 9: ODREĐIVANJE SASTAVA DIMNIH PLINOVA

21. OSNOVNI POJMOVI

Osnovni pojmovi koji se vežu uz zaštitu zraka, odnosno atmosfere navedeni su u nastavku i najbolje ih je prikazati kao na sljedećoj slici.



Sl. 21.1 Osnovni pojmovi koji se spominju u području zaštite zraka

Osnovni pojmovi koji se spominju u području zaštite zraka su:

- EMISIJA
- IMISIJA
- GRANIČNE VRIJEDNOSTI

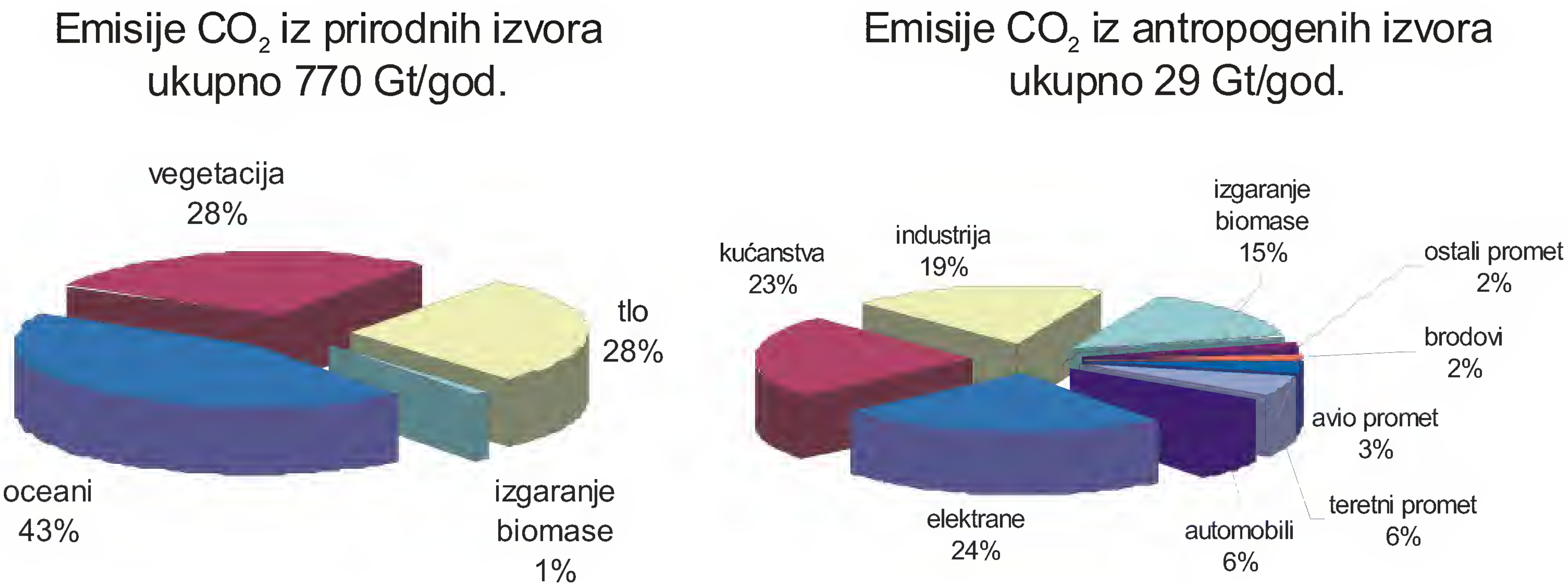
Svaka tvar koja je ispuštena u atmosferu predstavlja izvor emisije. Emisije se najprije dijele prema svome izvoru na emisije iz:

- **prirodnih izvora** - prirodni izvori emisija su flora, fauna, površina mora, vulkani, površina mora, te također i atmosferske pojave kao npr. atmosferski elektricitet (grmljavina)

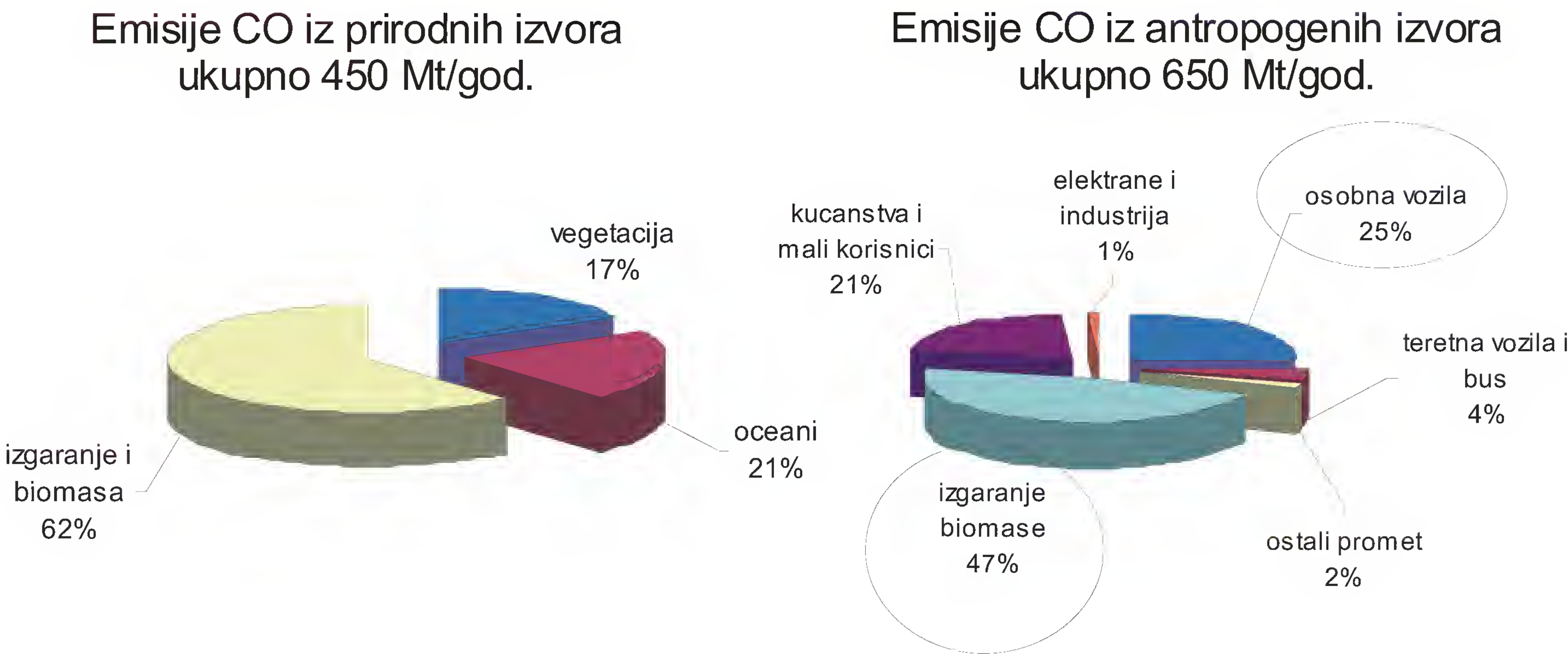
- **antropogenih izvora -** Antropogeni izvori su svi izvori emisija koje nastaju ljudskom djelatnosti: proizvodnja energije, industrija, promet, izgaranje otpada...

21.1. Usporedba emisija iz prirodnih i antropogenih izvora

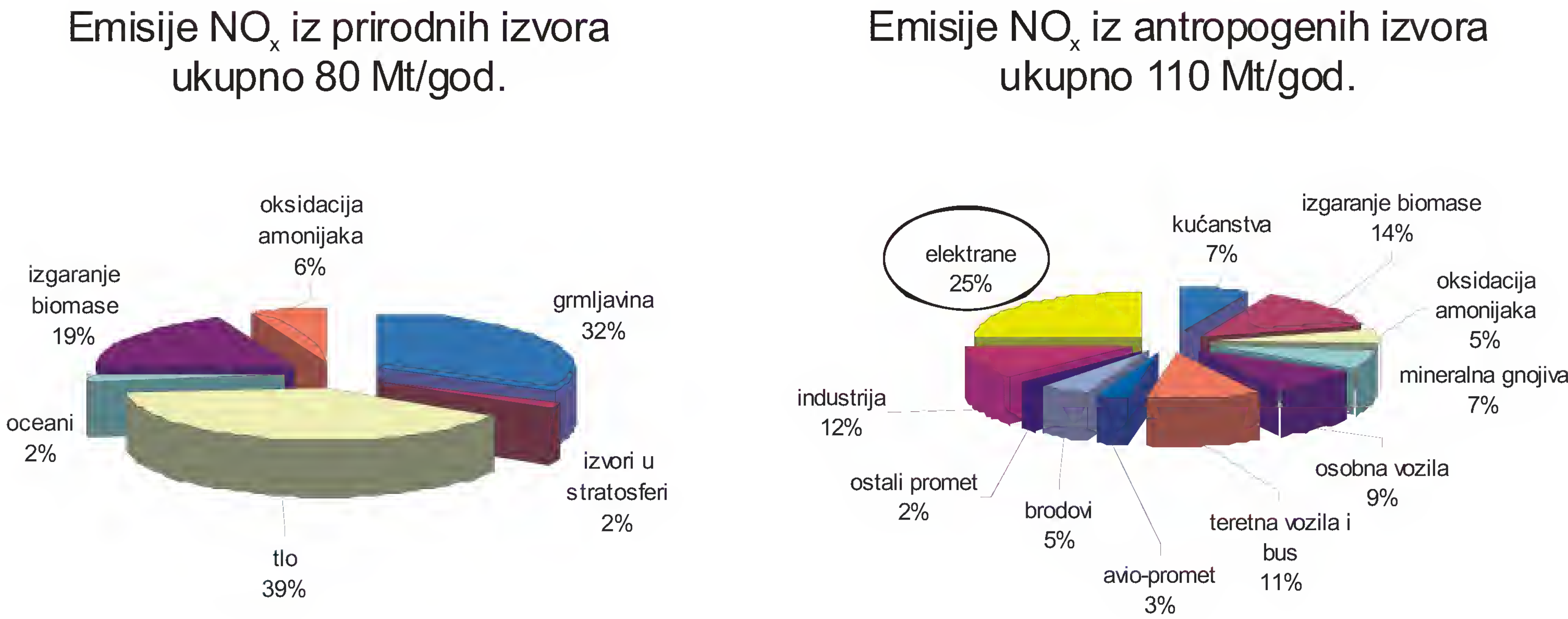
Na sljedećim su dijagramima prikazani odnosi i razmjeri emisija pojedinih štetnih plinova kao i međusobni odnosi emisija s obzirom na izvore emisije.



Sl. 21.2 Globalna godišnja emisija CO_2



Sl. 21.3. Globalna godišnja emisija CO



Sl. 21.4 Globalna godišnja emisija NOx

Iz podataka prikazanih na slikama 21.2, 21.3 i 21.4 vidljivo je da je emisija štetnih plinova iz antropogenih izvora, osim za CO_2, premašila emisije iz prirodnih izvora.

Imisija

Koncentracija tj. količina štetnih plinova ili čestica u atmosferi naziva se imisija. Plinovi i čestice se nalaze već disperzirani u atmosferi. Imisija se mjeri na unaprijed određenim lokacijama i putem nadzora imisije nadzire se svaka potencijalna opasnost za ljude i okoliš.

21.2. Izvori antropogene emisije

Izvori emisija u zrak koja nastaje uslijed ljudskog djelovanja i utjecaja mogu se podijeliti na stacionarne i nestacionarne. Podjela na stacionarne i nestacionarne izvore koristi se i u zakonskim propisima kod određivanja propisanih graničnih vrijednosti.

Najznačajniji stacionarni izvori emisija su:

- elektrane
- industrijska postrojenja
- kotlovnice
- poljoprivreda
- ...

dok su najznačajniji nestacionarni izvori:

- cestovni promet
- morski promet
- avionski promet

Emisije iz stacionarnih izvora su rezultat različitih procesa u kojim se oslobađaju različite štetne tvari, u različitim količinama i omjerima, a to su:

- proizvodnja topline
- proizvodnja električne energije
- proizvodnja pare
- termička obrada
- izgaranje otpada
- proizvodnja cementa i keramike
- proizvodnja čelika
- .....

Ovi procesi većinom su vezani za izgaranje tako da se emisije odnose na dimne plinove nastale izgaranjem. Granična vrijednost, odnosno maksimalna propisana emisija ovisi o vrsti procesa i propisuje se za svaki proces zasebno.

21.3. Sastav dimnih plinova

Kod procesa izgaranja nastaju produkti izgaranja koji se još nazivaju i dimni plinovi. Sastav dimnih plinova uglavnom čine: dušik (N_2), vodena para (H_2O), kisik (O_2), ugljik-dioksid (CO_2). Ovi se plinovi ne smatraju štetnima, i nadzor njihove emisije nije reguliran (osim za CO_2 Kyoto protokolom).

Pored ovih plinova u procesu izgaranja nastaju i određeni plinovi koji se smatraju štetnim. Najčešći štetni plinovi (sastojci) u sastavu dimnih plinova:

- ugljik-monoksid (CO)
- dušikovi oksidi (NO i NO_2)
- sumpor-dioksid (SO_2)
- ugljikovodici (C_xH_y)
- čestice (leteća čađa i dr.)

U manjim se udjelima mogu pojaviti i sljedeći plinovi:

- sumporovodik (H_2S) - u prirodnom plinu izgaranje u rafinerijama
- cijanovodik (HCN) - pri izgaranju otpada
- amonijak (NH_3) - pri sustavima koji koriste SCR - selective catalytic reduction, za smanjenje emisije NO_x
- halogeni (HCl, HF) - pri izgaranju ugljena i otpada.

22. ODREĐIVANJE SASTAVA DIMNIH PLINOVA

Za određivanje sastava dimnih plinova propisane su norme i standardi koji opisuju mjerne uređaje koji se primjenjuju za takva mjerenja, kao i mjerne metode koje se koriste za mjerenja. Sastav dimnih plinova izgaranja mjeri su sukladno normi HRN EN ISO 10396 u kojoj su opisane mjerne metode i postupci.

Mjerne metode se s obzirom na način uzimanja uzorka mogu podijeliti na:

- **neekstraktivne** (mjerne sonde i uređaji se nalaze unutar ili na dimnom kanalu i analiziraju sastav plinova direktno ili posredno)
- **ekstraktivne** (uzorak dimnog plina se uzima iz dimnog kanala i vodi u uređaj gdje se analizira)

Ovisno o propisima i veličini stacionarnog izvora emisije mjerenja se obavljaju kontinuirano (stalni nadzor emisija) ili povremeno (jednom godišnje ili kako je propisano). Da bi odredili sastav dimnih plinova koristimo određene vrste osjetnika (senzora). Senzori pomoću kojih se određuje sastav plina su prema načinu rada:

Tab. 22.1. Princip rada senzora

SENZOR	**PRINCIP**
elektrolitski	međudjelovanje energije kemijske reakcije i električne energije
optički	promjena optičkih svojstava
kalorimetrički	toplina razvijena u reakcijama ispitivanog plina
fotometrički	apsorpcija ultraljubičastog i infracrvenog zračenja
paramagnetski	paramagnetska svojstva kisika
kemiluminescencija	kemijske reakcije sa pojavom luminescencije
ionizacija plamena	pojava ionizacije plamena i mjerenje nastale struje

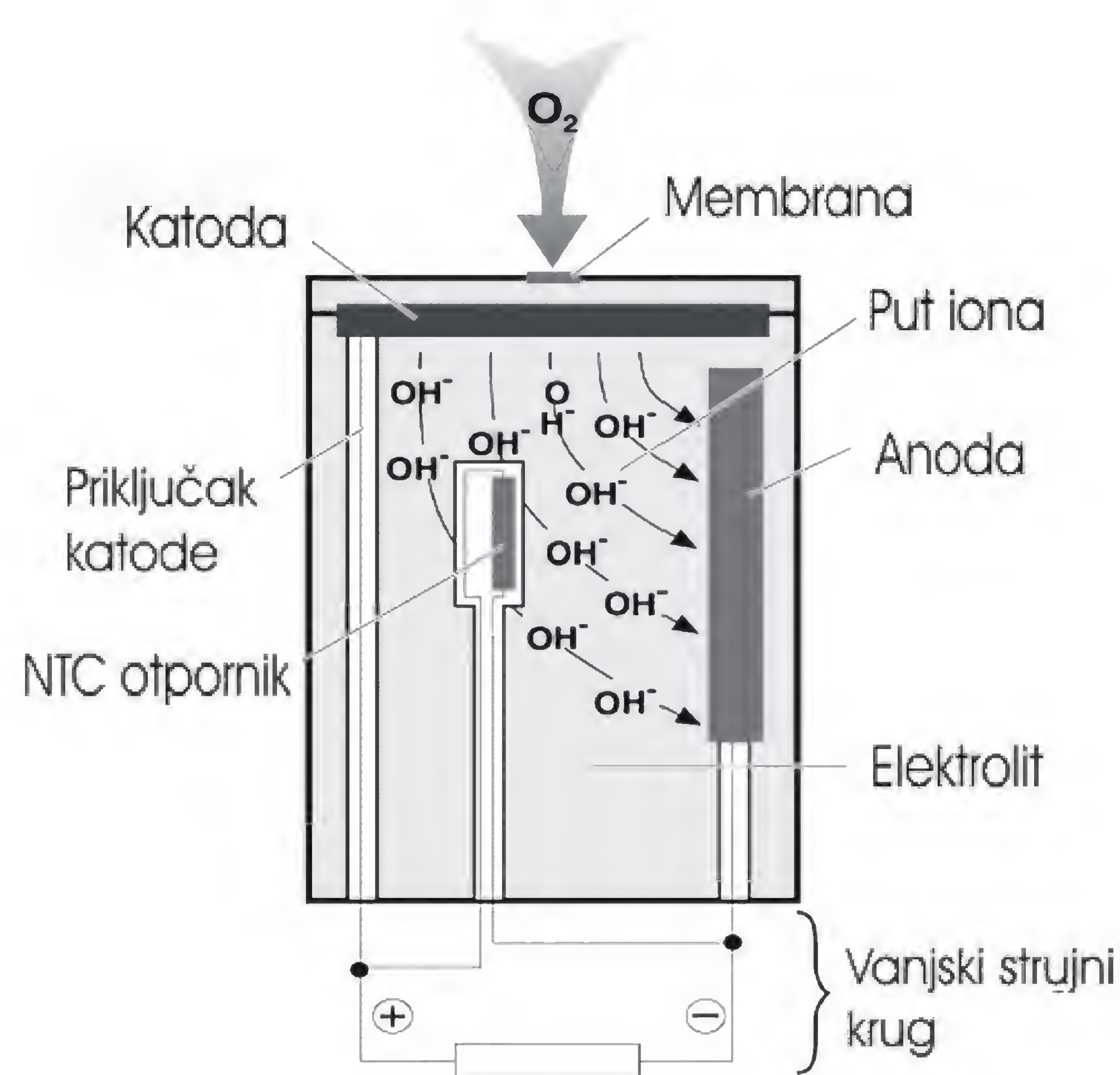
Za detekciju koncentracije pojedinih plinova mogu se koristiti različite vrste mjernih senzora, ali za detekciju nekih plinova se mogu koristiti samo određeni mjerni senzori.

Mjerni princip	SO_2	CO	CO_2	NO_x	H_2S	O_2	C_xH_y
fotometrija(IC)	x	x	x	x			
fotometrija(UV)	x			x			
paramagnetizam							x
kemiluminescija			x		x		
kalorimetrijski		x					x
ionizacija plamena							x
el.-kemijska potenciometrija (elektrolitski)		x	x		x	x	x

Sl. 22.1 Način rada senzora za određivanje udjela plina (usporedna tablica)

22.1. Elektrolitski senzori

Koriste se za određivanje udjela O_2 u dimnim plinovima, kao i štetnih plinova CO,SO_2 ili NO_x.



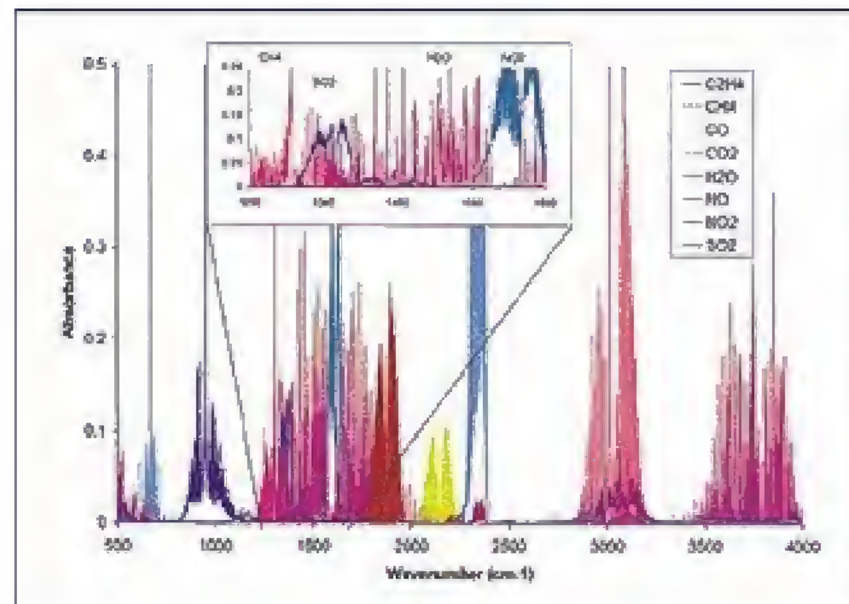
Sl. 22.2 Elektrolitski senzor

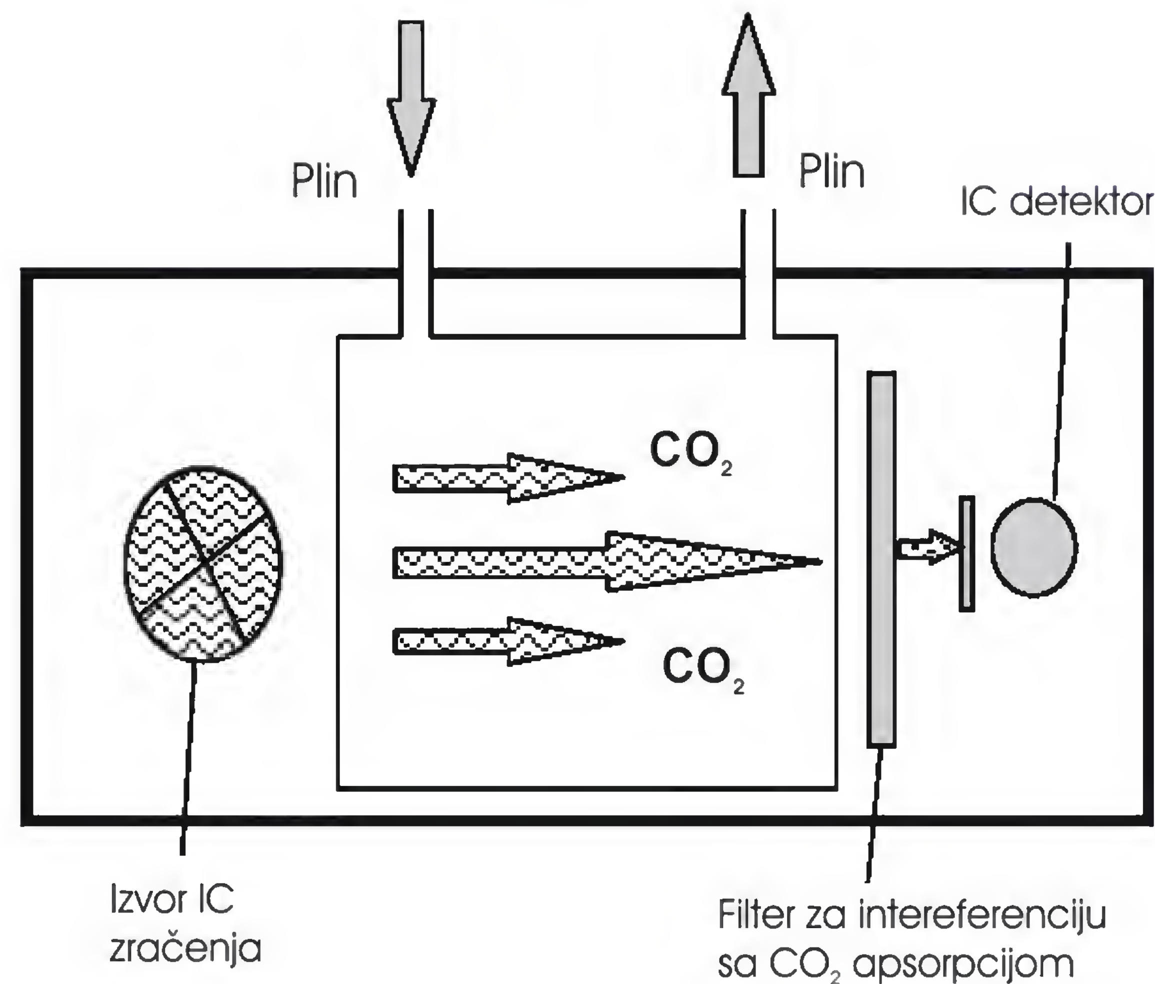
Dimni plinovi prolaze preko katode i kemijskom reakcijom nastaju OH^- ioni koji putuju prema anodi.
Protok struje je proporcionalan koncentraciji kisika u dimnim plinovima. Ova se vrsta senzora najčešće koristi u prijenosnim uređajima za mjerenje emisija, jer su vrlo kompaktni, robusni i ne zahtijevaju posebne (laboratorijske) uvjete rada.

22.2. Senzori na principu IC apsorpcije

Ova vrsta senzora koriste se za određivanje udjela plinova CO, SO_2, CO_2 i NO. Rade na principu selektivne apsorpcije infracrvenog svjetla od strane plinova, tj. za svaki pojedini plin se na određenom području valnih duljina apsorbira infracrveno svjetlo, razmjerno koncentraciji detektiranog plina.

Dimni plinovi prolaze kroz komoru kroz koju se poprečno na plinove putem IC lampe emitiraju IC zrake određene valne duljine. Na temelju apsorbiranog zračenja se određuje koncentracija pojedinog plina u smjesi dimnih plinova. Ova vrsta senzora se koristi za određivanje koncentracije CO_2 u dimnim plinovima.





Sl. 22. 3 Senzor na principu IC apsorpcije

22.3. Određivanje udjela krutih čestica

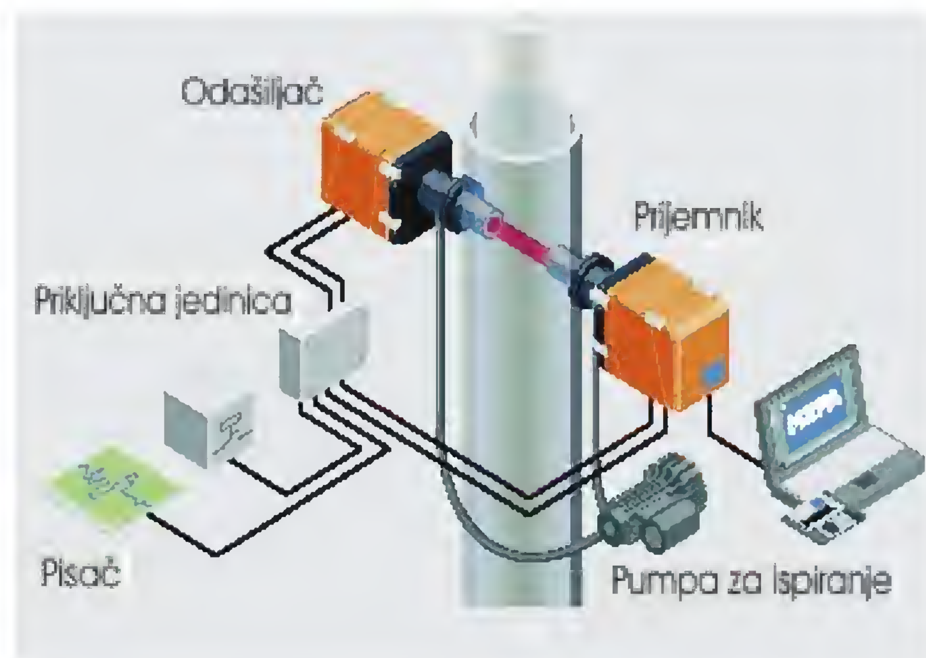
Krute čestice predstavljaju sve sastojke dimnih plinova koji se nalaze u krutom agregatnom stanju, a čiji sastav može znatno varirati ovisno o sastavu goriva i uvjetima izgaranja. Sastav čestica nije predmet analiza, već samo određivanje masene koncentracije čestica u dimnim plinovima. Određivanje udjela krutih čestica u dimnim plinovima se može obavljati na više načina koristeći različite metode:

- **gravimetrijske izokinetičke metode -** određivanje mase čestica nakupljenih na filter papiru, metoda određuje specifične uvjete za uzimanje uzorka
- **optičke metode -** koriste svojstva apsorpcije i/ili refleksije svjetlosti od čestica
- **električke metode -**statički elektricitet

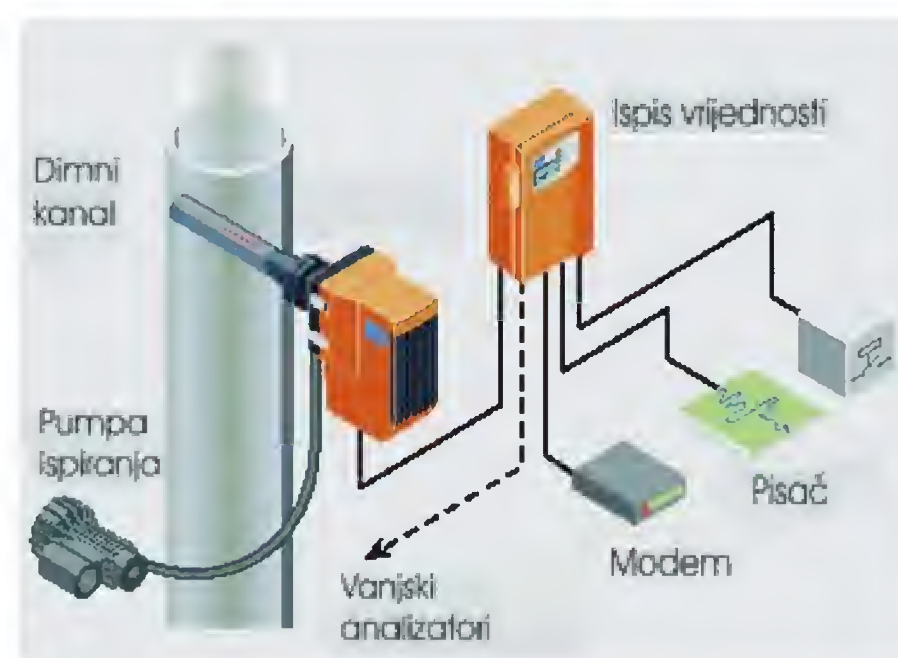
23. MJERNE METODE ZA ODREĐIVANJE SASTAVA DIMNIH PLINOVA

23.1. Neekstraktivne metode (određivanje sastava plinova)

To su pretežno spektroskopske metode sa uređajima za mjerenje na dimnom kanalu. Rade na principu *Beer-Lamber* zakona prema kojem, ako se monokromatska zraka svjetlosti emitira poprečno na dimni kanal, smanjenje intenziteta svjetlosti proporcionalno je količini mjerenih plinova u dimnim plinu.



Apsorpcija IC zračenja



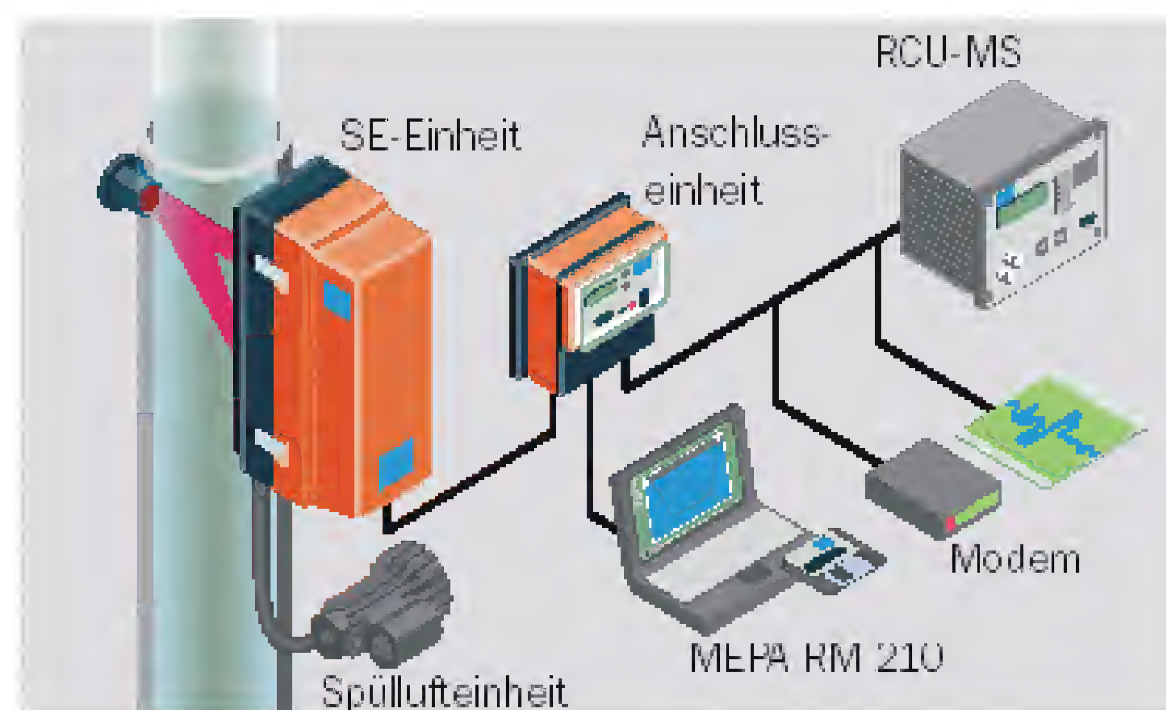
UV spektroskopija

Sl. 23.1 Analizator za kontinuirano mjerenje emisije štetnih plinova

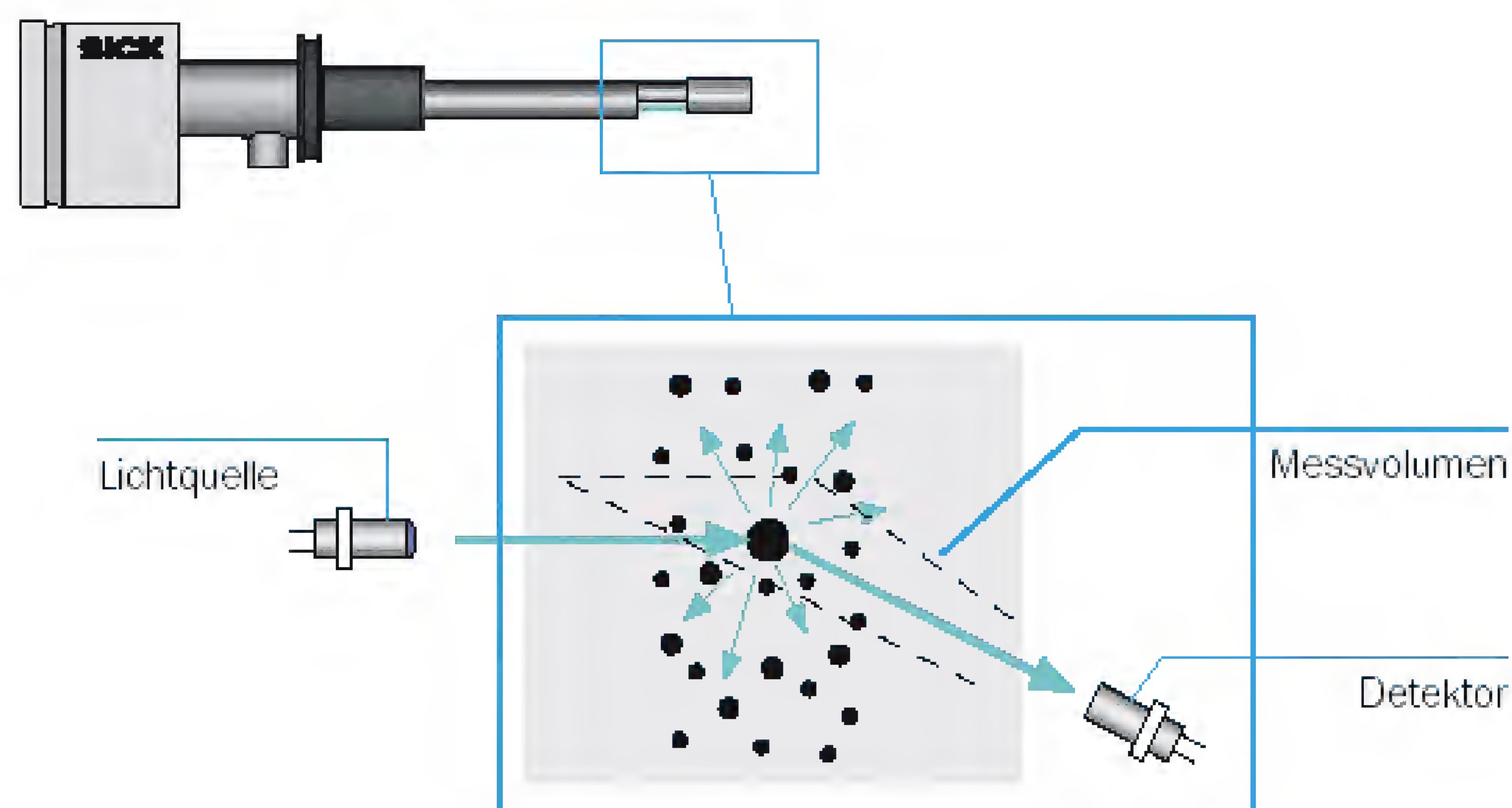
Osnovne prednosti ove vrste uređaja su da nisu osjetljivi na visoke koncentracije plinova i kiselih sastojaka, precizni su i moguće ih je kalibrirati kontinuirano. Ova se vrsta uređaja koristi uglavnom za kontinuirani nadzor emisija iz većih energetskih postrojenja.

23.2. Neekstraktivne metode (mjerenje koncentracije krutih čestica)

Još se nazivaju "cross-duct" uređaji, gdje su uređaji za mjerenje koncentracije čestica smješteni direktno na dimni kanal. Kod nižih koncentracija čestica koristi se metoda difuzije svjetlosti, gdje se emitira svjetlost u dimni kanal, te se mjeri reflektirana svjetlost od čestica u dimnom plinu.



Sl. 23.2 Analizator za kontinuirano mjerenje emisije krutih čestica



S. 23.3. Princip rada analizatora

Laserska dioda zrači svjetlost (koja nije u vidljivom području spektra) na struju dimnog plina kojeg mjerimo. Zrake svjetlosti koje se odbiju od čestica se detektiraju pomoću visokoosjetljivog detektora svjetlosti. Izmjerena količina reflektirane svjetlosti je proporcionalna koncentraciji čestica.

Još jedna metoda koja se koristi za stalni nadzor emisija je triboelektrična metoda. Kod te metode metalna šipka se umetne u dimni kanal poprečno na smjer strujanja dimnog plina. Čestice koje udaraju u šipku prenose statički elektricitet na šipku pomoću kojeg se određuje koncentracija krutih čestica u plinu.

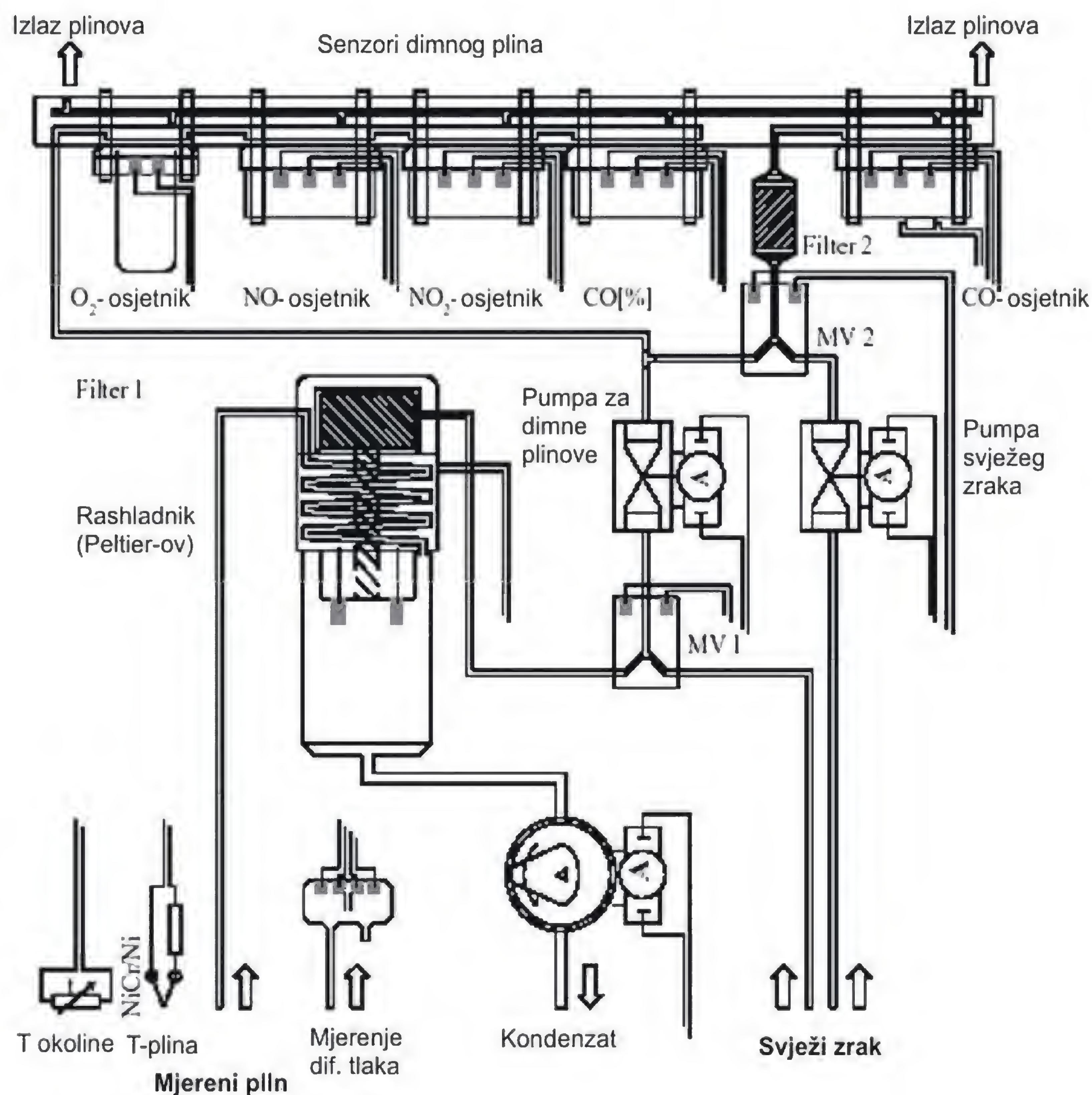
23.3. Ekstraktivne metode (mjerenje sastava dimnog plina)

Ekstraktivne metode u koriste kod kontinuiranih mjerenja i gotovo uvijek kod povremenih mjerenja. Način uzimanja i obrade uzorka propisan je normom HRN EN ISO 10396, gdje su navedeni uvjeti pod kojima se može vršiti analiza sastava dimnih plinova kao u mjesto uzimanja uzorka.



Sl. 23. 4 Prijenosni analizator sastava dimnih plinova

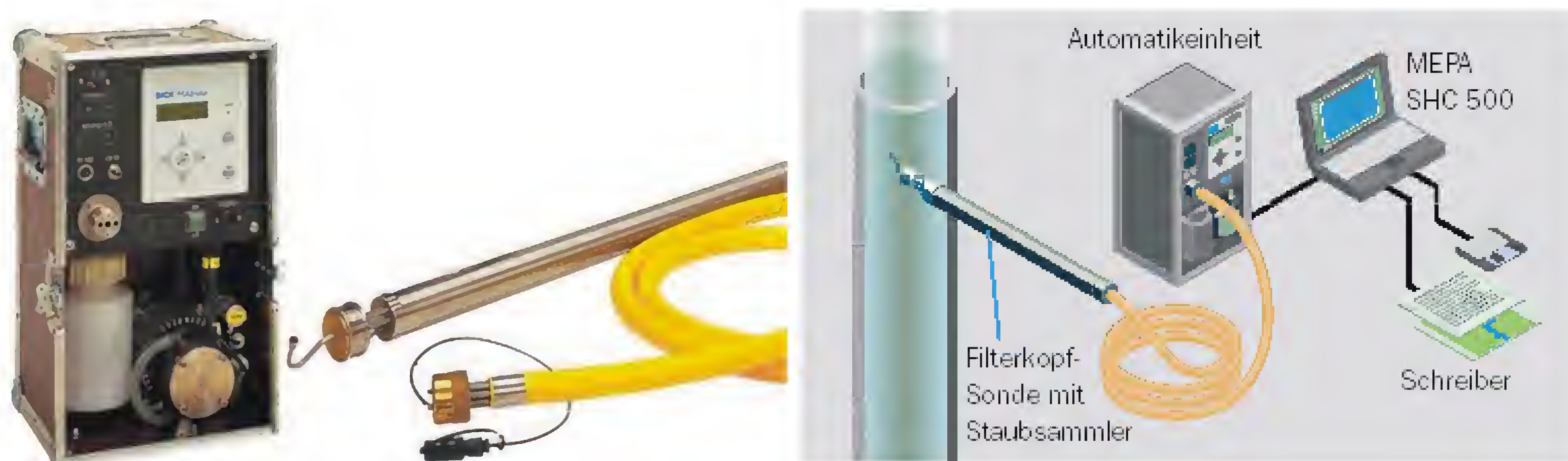
Mjerenje ekstraktivnom metodom karakterizira uzimanje uzorka plina iz dimnog kanala te analiza plina u izdvojenom uređaju. Uzorak plina se pomoću membranske pumpe dovodi do rashladnika (*Peltierov* rashladni uređaj), gdje se naglo hladi i izdvaja se kondenzat (vodena para). Tako obrađeni plinovi vode se dalje na senzore za detekciju pojedinih plinova (O_2, NO, NO_2, SO_2,…)



Sl. 23.5 Shema uređaja za određivanje sastava dimnog plina

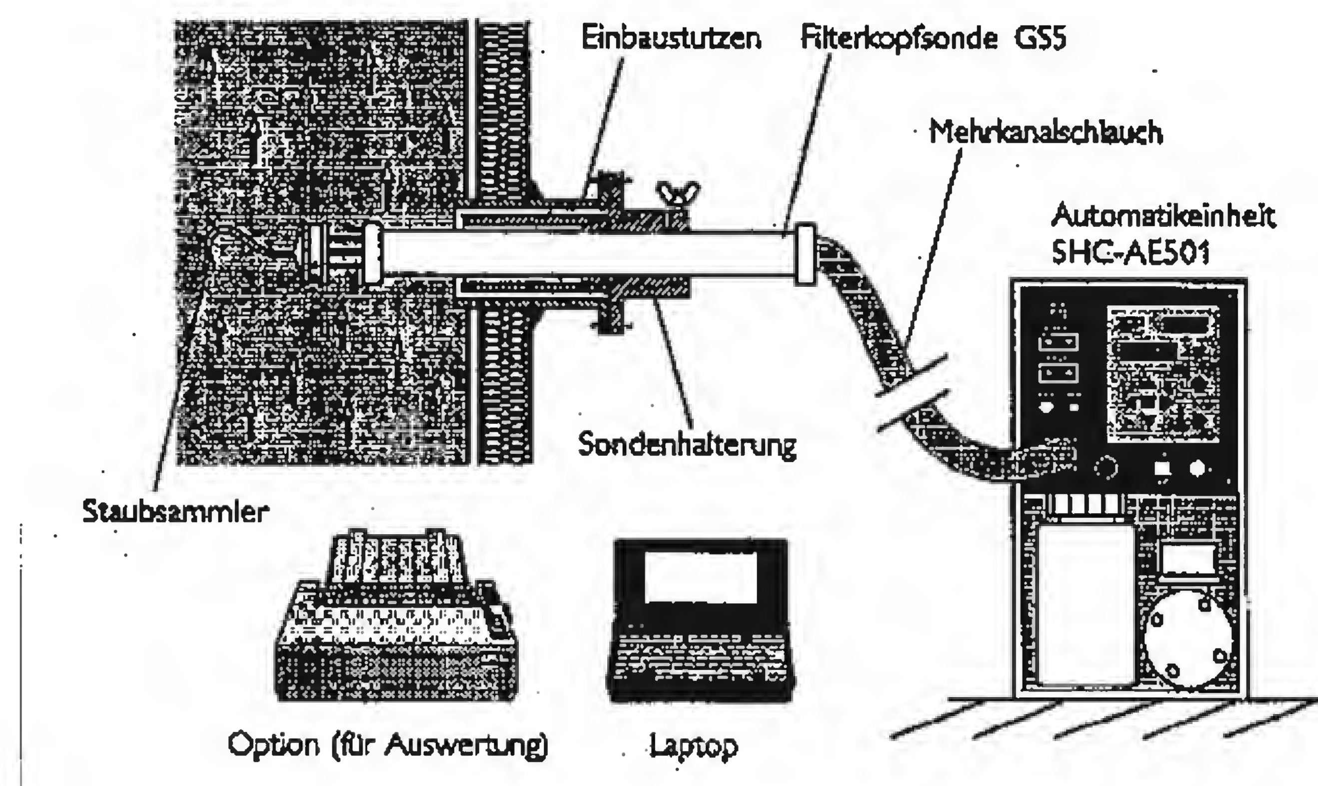
23.4. Ekstraktivne metode (mjerenje koncentracije krutih čestica)

Za mjerenje koncentracije krutih čestica u dimnim plinovima koristi se metoda tzv. izokinetičkog uzorkovanja.

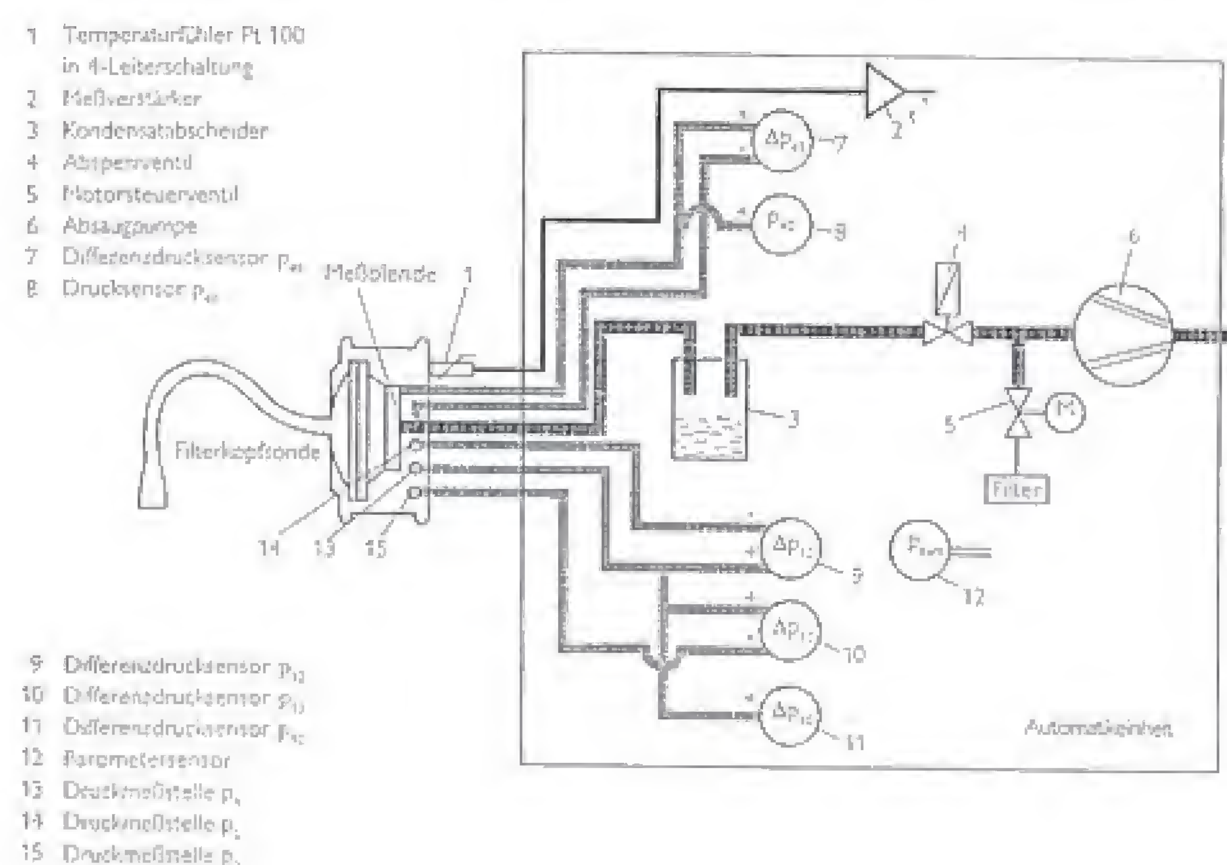


Sl. 23.6 Izgled i način povezivanja uređaja za izokinetičko uzorkovanje

Pomoću sonde se uzima uzorak dimnog plina iz dimnog kanala, pod izokinetičkim uvjetima (da se dobije reprezentativni uzorak) i putem filter papira se određuje masa krutih čestica. Mjerenje se mora izvesti u više točaka po presjeku jer je međusobni otklon rezultata mjerenja i do 20%.



Sonda uređaja i priključci za mjerenja



Sl. 23.7 Prikaz uređaja za određivanje sadržaja krutih čestica i shema sonde za uzimanje uzorka

24. ZAKONI I PROPISI U PODRUČJU ZAŠTITE ZRAKA

Uredba o graničnim vrijednostima emisija štetnih tvari donesena je 1997. godine i u primjeni je od 1. siječnja 1998. Uredba je napisana po uzoru na slične u Europskoj Uniji, točnije u Njemačkoj (TA-Luft). Do danas je doživjela dvije promjene 2002. i 2003. godine. Doneseni su i drugi podzakonski akti koji reguliraju područje nazora emisija i imisija, a u toku je i reguliranje tih aktivnosti sa važećom regulativom u Europskoj uniji.

Krovni zakonski akt koji propisuje područje vezano za zaštitu zraka je Zakon o zaštiti zraka. Na temelju tog zakona donesena je navedena Uredba o graničnim vrijednostima

emisija (GVE) štetnih tvari u zrak. Uredba propisuje granične vrijednosti za pojedine procese, među kojim je posebno propisano područje izgaranja u uređajima za proizvodnju energije. Uređaji se razvrstavaju prema gorivu koje koriste, kao i prema deklariranom toplinskom učinku.

24.1 Granične vrijednosti emisija štetnih tvari u zrak

Tab. 24.1. Granične vrijednosti za male i srednje uređaje (od 0,1..3 MW i 3..50 MW)

Veličina	GVE (tekuća goriva)	GVE(plinovita goriva)
Dimni broj	1	1
Toplinski gubici u otpadnom plinu	10%	10%
Krute čestice (samo srednji)	150 mg/m^3	10 mg/m^3
Ugljik (II) oksid	175 mg/m^3	100 mg/m^3
Oksidi dušika izraženi kao NO_2	250 mg/m^3	200 mg/m^3
(ekstra lako loživo ulje)	350 mg/m^3	
(ostala loživa ulja)	350 mg/m^3	
Oksidi sumpora izraženi kao SO_2 (samo srednji)	1700 mg/m^3	-

Tab. 24.2. Granične vrijednosti za velike uređaje (iznad 50 MW)

Veličina	GVE (tekuća goriva)	GVE(plinovita goriva)
Dimni broj	1	1
Toplinski gubici u otpadnom plinu	10%	10%
Krute čestice (samo srednji)	150 mg/m^3	10 mg/m^3
Ugljik (II) oksid	175 mg/m^3	100 mg/m^3
Oksidi dušika izraženi kao NO_2 >50..500 MW >500 MW	 450 mg/m^3 400 mg/m^3	 300 mg/m^3 200 mg/m^3
Oksidi sumpora izraženi kao SO_2 (samo srednji) >50..300 MW >300...500 MW >500 MW	 1700 mg/m^3 1700-400 mg/m^3 400 mg/m^3	
Plinoviti spojevi klora kao HCl	30 mg/m^3	
Plinoviti spojevi fluora kao HF	5 mg/m^3	
Anorganske tvari i njihovi spojevi	2 mg/m^3	

24.2 Posljedice povećane koncentracije štetnih tvari u atmosferi

Štetne tvari, odnosno štetni plinovi imaju znatan i mjerljiv utjecaj na čovjekov okoliš i čovjekovo zdravlje. Taj utjecaj sve više dolazi do izražaja povećanjem koncentracije štetnih tvari u atmosferi koja nastaje kao posljedica sve bržeg gospodarskog razvoja. U nastavku su navedeni najvažniji utjecaji pojedinih štetnih plinova na okoliš i zdravlje.

Tab. 24.3. Utjecaji na okoliš i predmete u okolišu

Štetna tvar	**Učinak**
čestice	ubrzavaju kemijske reakcije, uzrokuju kroziju metala i nakupljanje prašine i nečistoće
sumporovi oksidi	oštećuju lišće i drveće, oštećuju premaze i boje, uzrokuju koroziju, oštećuju tekstil i papir
ugljikovodici	usporavaju rast biljaka
dušikovi oksidi	oštećuju lišće i rast drveća, uzrokuju koroziju metala
ozon	uništava pigment na lišću, oštećuje tekstilne materijale i gumene materijale

Tab. 24.4. Utjecaji na ljudsko zdravlje

Štetna tvar	**Učinak**
čestice	povećavaju tegobe dišnog sustava
sumporovi oksidi	iritiraju gornji dio dišnog sustava
ugljikovodici	potencijalno kancerogene tvari
ugljik monoksid	uzrokuje glavobolje, slabost, apsorbira se u krv, utječe na misaone procese
dušikovi oksidi	iritiraju oči i gornje dišne puteve
ozon	uzrokuje slabost, utječe na rad pluća iritira oči, nos i grlo, pri većoj koncentraciji inducira kašalj

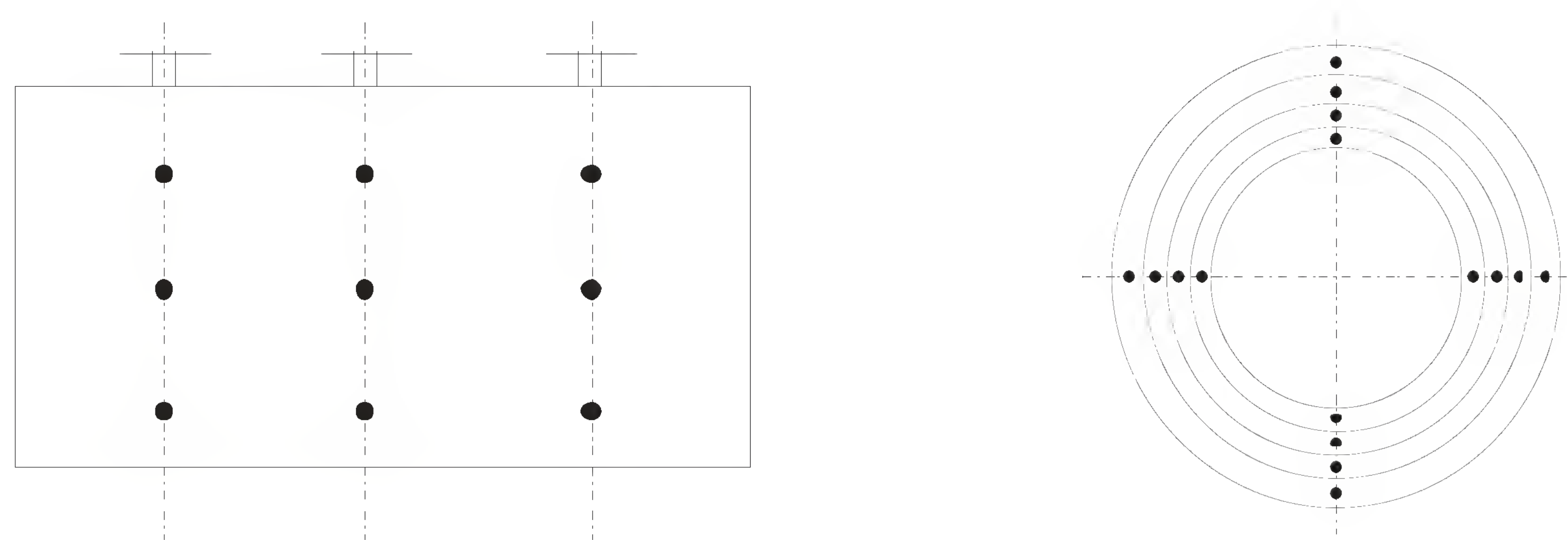
25. LABORATORIJSKA VJEŽBA IZ MJERENJA EMISIJA

25.1. Mjerno mjesto

Mjernim mjestom se naziva mjesto na dimnom kanalu na kojem obavljamo mjerenja. Mora se nalaziti na takvoj poziciji na trasi dimnog kanala da je na tom mjestu struja dimnih plinova neometana od raznih mogućih zapreka strujanju (lukovi, zaklopke, ventilatori...).

Mjerne točke (mrežno mjerenje)

Ovisno o veličini i obliku dimnog kanala potrebno je izmjeriti srednju koncentraciju dimnih plinova mjerenjem u više točaka po presjeku dimnog kanala.



mjerne točke kod pravokutnog presjeka   mjerne točke kod kružnog presjeka

Sl. 25.1 Položaj mjernih točaka

Za kružne kanale promjera do 0,3 m (300 mm) dovoljno je jedno mjerenje u središtu dimnog kanala.

25.2. Način određivanja emisije iz stacionarnih izvora

Pravilni način određivanja emisije je putem prosječnih vrijednosti. Potrebo je odrediti prosječne vrijednosti emisija na svim režimima rada uređaja (npr. dvostupanjski plamenik):

1. paljenje
2. rad na prvom stupnju
3. prelazak na drugi stupanj
4. rad na 2 stupnju
5. prelazak na 1. stupanj
6. rad na 1. stupnju i gašenje

25.3. Provedba mjerenja

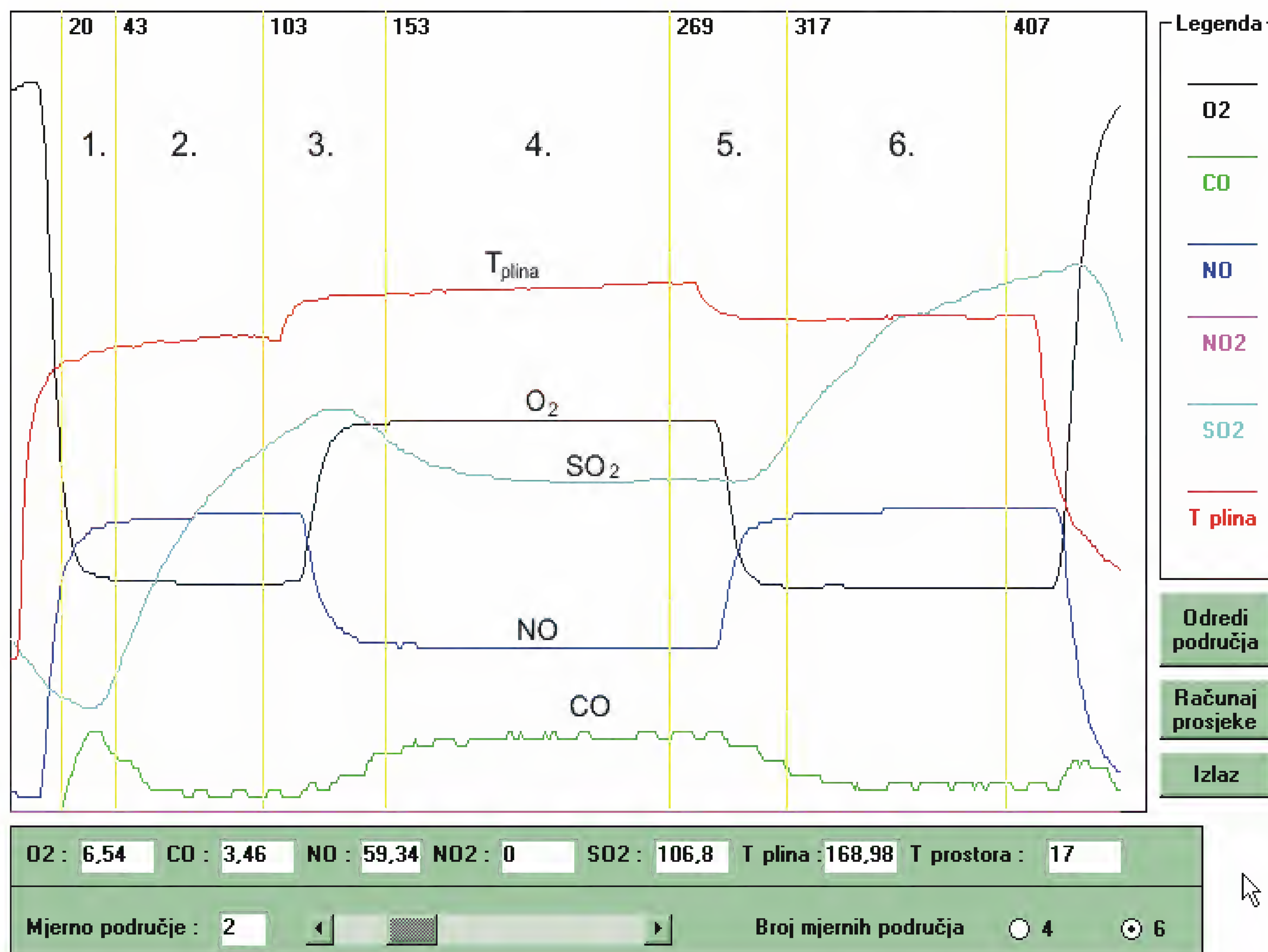
Mjerenja se provode u kotlovnici Tehničkog fakulteta. Korišteni mjerni uređaj je digitalni instrument za mjerenje temperature, relativne vlažnosti, brzine strujanja, diferencijalnog tlaka (referentni instrument) s pripadajućim priborom i pisačem tip

Testo 400, proizvod Testo GmbH (centralna jedinica) proširena s instrumentom za analizu dimnih plinova Testo 350, s mogućnošću mjerenja sadržaja O_2, CO_2, NO, NO_2, temperature pretička zraka, tlaka sadržaja vlage, brzine strujanja, komplet s priborom, pisačem i mjernim sondama, s mogućnošću memoriranja podataka i softwareom za priključenje na računalo (Sl. 25.2).



Sl. 25.2 Mjerni uređaj Testo 350/400 s mjernim sondama za dimne plinove

Primjer grafičkog prikaza rezultata mjerenja dan je na slici 25.3.



Sl. 25.3 Primjer rezultata mjerenja u različitim režimima rada

25.4. Određivanje koncentracije štetnih plinova i drugih karakterističnih veličina

Udjeli štetnih plinova u dimnim plinovima mogu se izraziti kao masena koncentracija (udio mase sastojka), volumna koncentracija (udio volumena sastojka), parcijalni udio [ppm] - parts per million (volumni). Izračun normirane koncentracije štetnih plinova provodi se tako da se koncentracija dimnih plinova svede na referentni udio kisika, čime rezultati mjerenja dobivaju međusobnu usporedivost. Normirane koncentracije dobivaju se pomoću sljedećih izraza:

$$CO\left[mg/m^3\right] = \frac{21 - O_{2(zad)}}{21 - O_{2(izmj.)}} \cdot CO\left[ppm\right] \cdot 1,25$$

$$SO_2\left[mg/m^3\right] = \frac{21 - O_{2(zad)}}{21 - O_{2(izmj.)}} \cdot SO_2\left[ppm\right] \cdot 2,86$$

$$NO_2\left[mg/m^3\right] = \frac{21 - O_{2(zad)}}{21 - O_{2(izmj.)}} \cdot \left(NO\left[ppm\right] + NO_2\left[ppm\right]\right) \cdot 2,05$$

gdje je:
$O_{2(zad)}$ = 3 % - zadani udio kisika
$O_{2(izmj)}$ - izmjereni udio kisika u dimnim plinovima

Mjerni uređaji koji se koriste za ovu vrstu mjerenja obično nemaju ugrađene senzore za određivanje koncentracije CO_2. Zato je potrebno računski odrediti koncentraciju CO_2 kao i pretičak zraka korištenjem slijedećih izraza.

$$\lambda = 1 + \frac{O_{2(izmj)}}{21 - O_{2(izmj)}}$$

$$CO_2 = \frac{CO_{2,max}}{\lambda}$$

gdje je:
$CO_{2,max}$ - maksimalni udio CO_2 u dimnim plinovima koji ovisi o vrsti goriva

$CO_{2,max}$ = 13,9 % - za miješani plin

Nadalje potrebno je izračunati gubitke uslijed osjetne topline dimnih plinova. Izračun toplinskih gubitaka u dimnim plinovima provodi se pojednostavljenim izrazom korištenjem faktora A_2 i B, koji ovise o vrsti goriva.

$$g_{dim.pl.} = \left(t_{pl} - t_0\right) \cdot \left[\frac{A_2}{(21 - O_{2(izmj)}} + B\right]$$

gdje su:
t_{pl} - temperatura dimnih plinova
t_0 - temperatura okoline
A_2 i B - faktori ovisni o vrsti goriva

A_2 = 0,63 ; B = 0,008 - za tekući naftni plin (TNP) – miješani plin

Na temelju izmjerenih vrijednosti koncentracija kisika (O_2), ugljik(II)-oksida (CO), dušik(II)-oksida (NO) i dušik(IV)-oksida (NO_2), temperature dimnim plinova (t_{pl}) i temperature okoline (t_0), korištenjem navedenih izraza potrebno je izračunati normirane koncentracije plinova:

- ugljik(II)-oksida (CO)
- dušik(IV)-oksida (NO_2)
- ugljik(IV)-oksida (CO_2)

izražene u mg/m_n^3, kao i slijedeće vrijednosti:

- gubitke u dimnim plinovima ($g_{d.pl.}$)
- pretičak zraka (λ)

Dobivene vrijednosti potrebno je usporediti sa graničnim vrijednostima emisija (GVE) i odrediti da li zadovoljavaju propisane vrijednosti. Sa graničnim vrijednostima emisija je potrebno usporediti sve vrijednosti koje su navedene u tablici iz Uredbe o GVE, izvršiti ocjenu mjerenja tako da se napiše da li izvor zadovoljava granične vrijednost, a ako ne zadovoljava obrazložiti zbog čega.

25.5. Primjer rezultata mjerenja

Uobičajeni postupak mjerenja podrazumijeva umetanje mjerne sonde u dimni kanal izvora na odabranom mjestu. Nakon toga, kotao se isključuje i nakon što mjerne vrijednosti na mjernom uređaju padnu na nulu, ponovno uključuje. Prije ponovnog uključenja izvora na mjernom uređaju se uključuje automatsko pohranjivanje podataka izmjerenih vrijednosti, koje se pohranjuju u intervalima od 2 sekunde. Nakon što izvor dostigne stalne radne parametre, pristupa se promjenama režima rada (opterećenja) izvora. Izmjereni podaci se nakon toga obrađuju na računalu te se prosjeci izmjerenih vrijednosti u nekoliko različitih režima rada ocjenjuju prema GVE. Računanjem prosjeka smanjuje se mogućnost greške uslijed kolebanja izmjerenih vrijednosti. Na ovaj se način mjerenja dobiva najbolja moguća slika rada uređaja.

Ovakvim mjerenjem utvrđeni su slijedeći rezultati:

Tab. 25. 1 - 1. mjerenje: (pri radu plamenika na prvom stupnju)

$O_{2(izmj)}$	CO(ppm)	NO(ppm)	NO_2(ppm)	t_{pl}	t_0
4,89	0	89	2,3	105,2	24,8

Tab. 25.2. - 2. mjerenje: (pri radu plamenika na drugom stupnju)

$O_{2(izmj)}$	CO(ppm)	NO(ppm)	NO_2(ppm)	t_{pl}	t_0
4,58	0	96	2,1	127	24,8

Potrebno je izračunati normirane koncentracije štetnih plinova pri radu plamenika na prvom stupnju:

$$CO = \frac{21-3}{21-4{,}89} \cdot 0 = 0 \left[mg/m_N^3 \right]$$

$$NO_2 = \frac{21-3}{21-4{,}89} \cdot (89+2{,}3) \cdot 2{,}05 = 209{,}12 \left[mg/m_N^3 \right]$$

Također je potrebno odrediti i ostale bitne parametre za izgaranje pri radu na prvom stupnju:

1. Pretičak zraka

$$\lambda = 1 + \frac{4{,}89}{21-4{,}89} = 1{,}3$$

2. Gubitci u dimnim plinovima:

$$g_{d.pl.} = (105{,}2 - 24{,}8) \cdot \left[\frac{0{,}63}{21 - 4{,}89 + 0{,}008} \right] = 3{,}142\%$$

3. Sadržaj ugljik(IV)-oksida u dimnim plinovima:

$$CO_2 = \frac{13,9}{1,3} = 10,69\%$$

Na isti način se određuje koncentracija štetnih plinova i drugi parametri za rad plamenika na drugom stupnju, te se dobije slijedeća tablica:

Tab. 25.3. Pregled rezultata

R.br.	**CO(mg/m^3)**	**NO$_2$(mg/m^3)**	λ	**CO$_2$[%]**	**$g_{d.pl.}$[%]**
1.	0	209,12	1,3	10,69	3,142
2.	0	220,45	1,27	10,94	3,919
GVE	100	200	-	-	10
zadovoljava DA/NE	☑	☒	-	-	☑

Zaključak:

Mjerenjima emisije utvrđeno je da izvor ne zadovoljava uvjetima graničnih vrijednostima emisija zbog prekoračenja dopuštene koncentracije dušikovih oksida svedenih na NO_2.

Napomena:

Kako se radi o plinovitom gorivu, glavni izvor zraka za formiranje dušikovih oksida se nalazi u zraku za izgaranje, pa je stoga smanjenjem pretička zraka moguće postići i manje emisije dušikovih oksida (NO_2).